

## **AGREGADOS NATURALES COMO MATRIZ DEL SUELO PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

### **NATURAL AGGREGATES AS SOIL MATRIX FOR SUSTAINBLE CONSTRUCTION**

**Autores:** Itzel García Gómez<sup>1</sup>

Oscar Díaz de León Sánchez<sup>2</sup>

Margarito Ortiz Guzmán<sup>3</sup>

**Institución:** <sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Unidad Oaxaca, México

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica de la Mixteca, Instituto de Diseño, Huajuapán de León,  
Oaxaca, México

<sup>3</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el  
Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán, Oax. México.

**Correo electrónico:** [itzelgargom@gmail.com](mailto:itzelgargom@gmail.com)

[odiaz@mixteco.utm.mx](mailto:odiaz@mixteco.utm.mx)

[margaritoog@yahoo.com](mailto:margaritoog@yahoo.com)

## **RESUMEN**

Uno de los problemas del adobe como material de construcción es su vulnerabilidad a las condiciones atmosféricas tales como su estabilidad volumétrica, poca resistencia al agua y poca resistencia mecánica, lo que provoca fisuración y deformaciones en el suelo, ataque de agua capilar y poca resistencia a la absorción. Este trabajo analiza agregados naturales en la matriz del suelo para mejorar las propiedades de durabilidad del adobe utilizado en la construcción. En una primera fase se clasificó el suelo a utilizar, procedente de San Agustín Yatareni, Oaxaca, así como la determinación de su humedad óptima y se realizaron pruebas de resistencia a compresión y degradación en agua, para tal efecto, se elaboraron cubos de 5 cm de suelo como referencia y de suelo combinado con jugo de hoja de plátano, hoja de plátano, engrudo de trigo, resina de pino, excremento de burro, excremento de burro y resina de pino. Finalmente se realizó un análisis de la varianza de los resultados obtenidos en los ensayos de compresión en cubos. Las muestras que tardaron mayor tiempo en desintegrarse

en agua y que tuvieron mayor resistencia a la compresión fueron las de suelo con 10 % de resina de pino. El análisis de la varianza en cubos mostró que el ajuste fue óptimo.

**Palabras clave:** Agregados naturales, Resistencia a compresión, Resistencia al agua.

## **ABSTRACT**

One of the problems of adobe as a construction material is the vulnerability to atmospheric conditions such as the volumetric stability, low resistance to water and low mechanical resistance, which causes cracking and deformation in the soil, capillary water attack and little resistance to absorption. This work analyzes natural aggregates in the soil matrix to improve the durability properties of adobe used in construction. In a first phase, the soil to be used, derived from San Agustín Yatareni, Oaxaca, was classified, as well as the determination of its optimal humidity and tests of compressive strength and degradation in water were realized, for this purpose, cubes of 5 cm were made of soil as reference and of soil combined with banana leaf juice, banana leaf, wheat paste, pine resin, donkey manure, donkey manure and pine resin. Finally, an analysis of the variance of the results obtained in the compression tests on cubes was carried out. The samples that took the longest to disintegrate in water and had the highest compressive strength were those of soil with 10 % pine resin. The analysis of variance in cubes was optimal.

**Keywords:** Compressive strength, Natural aggregates, Water resistance.

## **INTRODUCCIÓN**

La arquitectura de tierra ha estado presente en los asentamientos humanos localizados en diversas latitudes, desde las etapas más primitivas hasta las más complejas del desarrollo de la cultura. En función de este desarrollo, así como de los recursos existentes en cada localidad, se generaron técnicas constructivas que emplearon la tierra en diversas magnitudes y en combinación con otros materiales, para configurar lo que se conoce como sistemas constructivos. Muchas de estas técnicas basadas en la utilización de tierra se encuentran aún vigentes sin muchos

cambios. La evolución tecnológica se ha basado en el equilibrio entre la satisfacción de las necesidades sociales y la previsión de las condiciones de riesgo de los edificios. Son muchos los factores que han influenciado en el perfeccionamiento o abandono de diversas técnicas constructivas, por ejemplo, las formas de organización comunitaria, la disponibilidad de recursos naturales, los sistemas de división del trabajo, los intercambios comerciales y la geografía local (Guerrero, 2007).

El método de elaboración de adobes es el resultado de atinos y desatinos, donde los aciertos prevalecen y la información resultante se transmite de generación en generación; además ésta va variando según el lugar donde se elabore, por lo que se puede decir que es transmitido de manera oral y no escrita, pero existen investigadores y autores que buscan dar sustento a los métodos empíricos del adobe, llegando a estudiar proporciones adecuadas de arcilla, limos y arenas para su elaboración y los elementos que se pueden agregar para aumentar sus características mecánicas, químicas y/o físicas. Inclusive se estudia cómo mejorar las características del suelo cuando no resulta apropiado, a través de procesos de estabilización, con los cuales se busca subsanar las deficiencias del suelo, ya sea que necesiten agregar componentes del mismo suelo (llamados procesos homogéneos) o agregar materiales ajenos al mismo (denominados procesos heterogéneos), los cuales pueden ayudar a las arcillas en la acción aglutinante sobre las partículas inertes del suelo (nombrados estabilizantes consolidantes), a formar una “capa protectora” en torno a las partículas de arcilla regulando su contacto con el agua (llamados estabilizantes por impermeabilización o hidrofugantes) o bien pueden servir para controlar el desplazamiento, dilatación y retracción durante el secado de las partículas del suelo al conformar una especie de red (estabilizantes por fricción) (Guerrero, 2007).

Los métodos de estabilización más conocidos y más prácticos incrementan la densidad del suelo por la compactación, el reforzamiento del suelo con fibras, o añadiendo cemento, cal o materiales bituminosos (Alavéz, 2012).

El estudio del adobe resulta muy extenso, ya que se puede hablar desde el tipo de componentes que conforman el suelo hasta qué nuevos elementos se le pueden

agregar y no sólo naturales, sino también sustancias químicas, pero todas estas aportaciones tienen como meta conseguir que este sistema constructivo sea más eficiente y duradero que el actual.

La caracterización del suelo se lleva a cabo mediante pruebas de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y químicas. En las pruebas químicas se realiza el análisis químico cuantitativo y en las pruebas físicas se realizan actividades como: ubicación del banco de suelo, evaluación de la humedad del suelo del lugar, muestreo, secado, disgregado, cuarteo y determinación de la humedad de la muestra. Establecidas las pruebas preliminares del suelo, se realizan las pruebas de granulometría, de Atterberg, de contracción lineal, de densidad de sólidos y la clasificación del tipo de suelo. Para determinar la clasificación del tipo de suelo se toma como base el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) con base en los índices de plasticidad y límite líquido (SAHOP, 1980).

La resistencia a compresión es el esfuerzo último alcanzado en un material antes de fallar cuando se le aplica una carga que trata de estrecharlo. Su estudio se basa en la Ley de Hooke. La norma mexicana que establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión es la NMX-C-036-ONNCE. La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

La norma NMX-C-037-ONNCE establece el método de prueba para la determinación de la cantidad de agua que absorben los bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de concreto para la construcción, bajo ciertas condiciones especificadas.

El objetivo del trabajo es analizar agregados naturales que, combinados con el suelo, mejoren propiedades de resistencia a compresión e impermeabilidad del adobe.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El trabajo se dividió en dos fases, la primera enfocada a la clasificación del suelo a utilizar y la segunda consistió en pruebas de resistencia a la compresión y

degradación por agua en cubos de suelo y adicionados con diferentes agregados naturales. Se realizó un análisis de la varianza para los cubos utilizados en pruebas a compresión, utilizando el programa MiniTab para analizar el comportamiento de las mezclas empleadas.

### *Fase I. Suelo*

El suelo utilizado en este trabajo fue el de San Agustín Yatareni, localidad ubicada en los Valles Centrales de Oaxaca (Fig. 1). Se realizó el análisis granulométrico correspondiente, iniciando con el secado de la tierra, muestreo, cálculo del agregado grueso y fino, límites de consistencia (límite líquido, contracción lineal y límite plástico) y terminando con la prueba AASHTO estándar variante A (o Proctor estándar) para determinar su peso volumétrico seco máximo y humedad óptima.



Fig. 1. Suelo utilizado.

Fuente: Elaboración propia.

### *Fase II. Cubos*

De acuerdo a la bibliografía consultada, se eligieron los estabilizantes jugos de hoja de plátano y su fibra, engrudo de trigo y resina de pino para elaborar las muestras (Fig. 2).

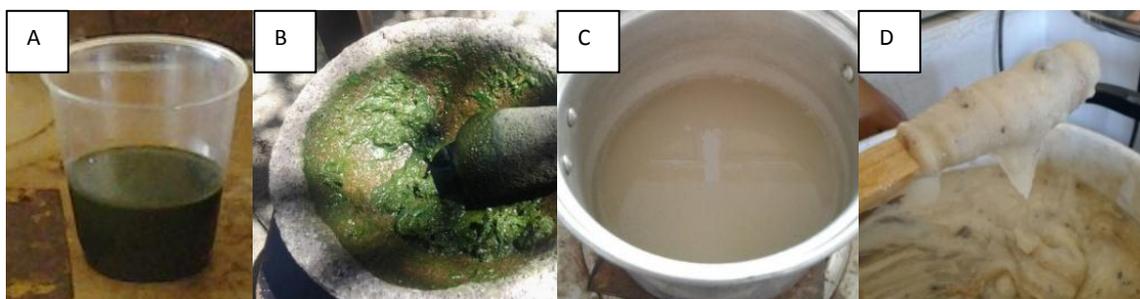


Fig. 2. Agregados naturales utilizados. A) Jugo de hoja plátano, B) hoja de plátano, C) engrudo de trigo y D) resina de pino.

Fuente: Elaboración propia.

Estas elecciones se debieron a las características que presentan, como por ejemplo el jugo de hojas de plátano mejora la resistencia a la erosión y disminuye la absorción de agua, con la resina las principales ventajas son resistencia al agua, rápido fraguado y solidificación de suelos muy húmedos; y el trigo porque es uno de los refuerzos más comunes del suelo, como la paja. (Stultz y Mukerji, 1993). Además, su obtención es más accesible: la resina de pino se puede conseguir en aserraderos cercanos a la ciudad de Oaxaca, el excremento de burro de granjas de Valles Centrales. El trigo (harina) se vende en mercados, tiendas de conveniencia y plantas de plátano también se encuentran en la ciudad.

Se elaboraron cubos de 5cm de lado. Para evaluar el efecto de los agregados naturales en las propiedades de permeabilidad y de compresión en cubos; se desarrolló un experimento factorial teniendo en cuenta el tipo de mezcla. Para las pruebas de permeabilidad el experimento factorial fue de 1x5x3, es decir, se consideró un factor (mezcla), utilizando 5 diferentes tipos de mezclas y por cada una de ellas se realizaron 3 réplicas. En cambio, para las pruebas de resistencia a compresión, el diseño del experimento fue de 1x5x6. Los niveles de la variable tipo de mezcla fueron adobe sin agregado (o suelo solo), jugo de hoja de plátano (5 %), hoja de plátano (5 %), engrudo de trigo (10 %) y resina de pino (10 %). Los porcentajes de los agregados fueron respecto al peso del suelo. La edad utilizada fue de 28 días, para conocer el incremento de resistencia con el tiempo; al ser el mismo tiempo para todas las mezclas no se consideró como un factor más. Las variables de respuesta fueron la resistencia a compresión y absorción (Tabla 1).

Tabla 1. Diseño de experimento de cubos.

Factor	Niveles	Descripción	Réplicas	Respuesta
<b>Mezcla</b>	5	SS	9 por mezcla*	Degradación en agua (prueba de permeabilidad).
		5JHP		
		5HP		
		10ET		Resistencia a la compresión.
		10RP		
		SERP15		
SS: Suelo solo, 5JHP: +5% jugo de hoja de plátano, 5HP: +5% hoja de plátano, 10ET: +10% engrudo de trigo diluido, 10RP: +10% resina de pino.				

**Total de muestras:= 45 ; Edad utilizada: 28 días**

\*Para las pruebas, de las 9 réplicas de cada mezcla, se utilizaron: 3 réplicas para permeabilidad y 6 réplicas para resistencia a la compresión.

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta las características de los agregados, se planteó de diferente forma el mezclado con el suelo. En el caso del jugo de plátano, se realizaron muestras mezclando el suelo con el jugo de su hoja y muestras mezclando la tierra con el jugo de la hoja más la hoja machacada, esto con la finalidad de observar qué características le brinda esta fibra al suelo. Se utilizó 5% de jugo de hoja de plátano con fibra y sin ella, respecto al peso del suelo. El engrudo de trigo se realizó de manera convencional, poniendo a hervir agua agregando harina de trigo y revolviendo; esto se diluyó en agua para evitar la aparición de grumos al mezclarlo con el suelo, asegurando así un mezclado uniforme. Se utilizó 10% de engrudo de trigo diluido respecto al peso del suelo. Con la resina se cuidó que el mezclado fuera uniforme, porque debido a su consistencia, si no se revuelve bien, unas partes de suelo cuentan con más resina que otros, formándose grumos. Se utilizó 10 % de resina de pino respecto al suelo.

Transcurridos los 28 días de secado, se realizó la prueba de degradación, tomándose 3 cubos de cada muestra para sumergir en agua con la finalidad de observar su proceso de desintegración y la reacción de cada muestra. Para realizar esta prueba se utilizaron bandejas transparentes de 30cm x 15cm x 10cm, agua y 3 cubos por muestra. Se llenaron las bandejas lo suficiente para cubrir completamente a los cubos (8 cm aprox.), después se sumergieron las muestras en las bandejas. Se realizaron pruebas de compresión en los cubos, para lo cual se necesitaron taras, brocha, cuadrados de cartón de 5.5 cm x 5.5 cm, máquina para pruebas de compresión, báscula y vernier. Se pesaron las muestras y se midieron, registrando en una tabla dichos datos. La prueba se realizó cubo por cubo.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### *Fase I. Suelo*

Del análisis granulométrico se obtuvo la gráfica granulométrica. El suelo estudiado presentó un 49% de finos en su constitución (Fig. 3).

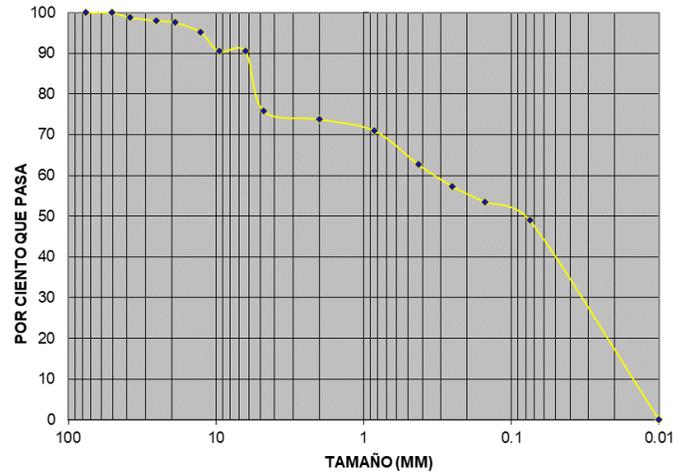


Fig. 3. Curva granulométrica resultante.

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos de los límites de Atterberg se registraron obteniéndose el límite plástico. Con los límites de plasticidad y líquido obtenidos, se graficaron los datos dentro de la carta de plasticidad, lo cual indica, de acuerdo al SUCS, que el suelo corresponde al tipo CL (Fig. 4). El suelo tipo CL cuenta con un límite líquido menor de 50 y se ubica arriba de la línea A, indicando que es un suelo con arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, lo cual la hace idónea para la elaboración de adobes. La humedad óptima resultante fue de 15.8% mientras que el peso específico fue de 815 kg/cm<sup>3</sup>.

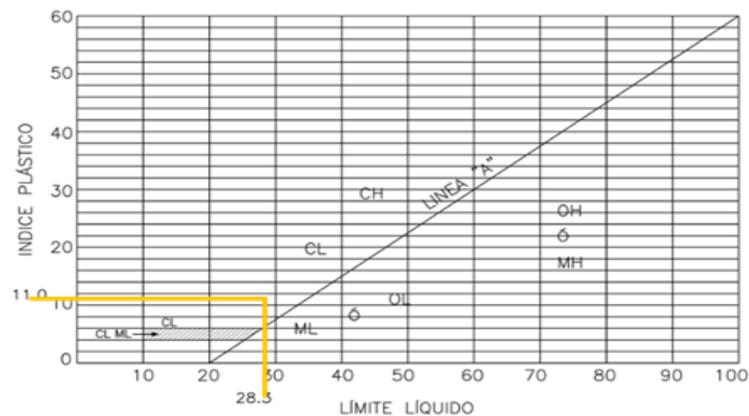


Fig. 4. Clasificación del suelo seleccionado para la elaboración de adobes, de acuerdo a la carta de plasticidad.

Fuente: Elaboración propia.

### Fase II. Cubos

De la prueba de degradación en agua se tomaron los tiempos que tardaron en deshacerse las muestras y se promediaron. La mezcla que tardó más tiempo en deshacerse (36 horas) fue la de suelo + 10% de resina de pino, las demás tardaron no más de media hora (Fig. 5).

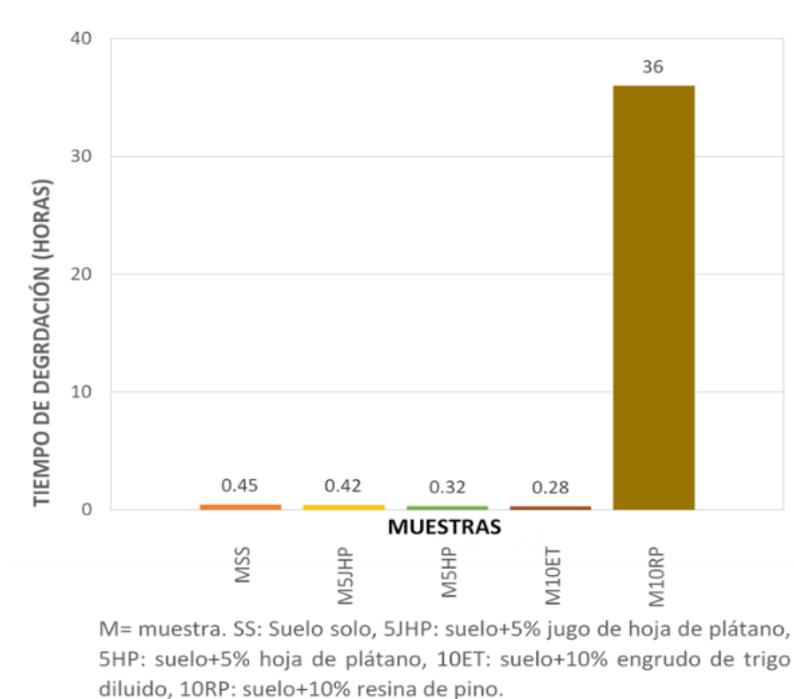


Fig. 5. Degradación en agua de cubos. Promedio de los tiempos que tardan las muestras en deshacerse completa o casi completamente.

Fuente: Elaboración propia.

Se registraron los datos obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión y los resultados del análisis de la varianza, los cuales indican la cercanía entre réplicas, es decir, que tan homogéneas resultaron y el nivel de confianza que presentaron los datos. De acuerdo a los resultados, se observó que las resistencias obtenidas fueron homogéneas, en otras palabras, que los valores entre las muestras fueron lo más parecidos entre ellos, ya que se obtuvo un valor

$R^2$  de 74.55 %, cercano al 100 %, lo cual indica un óptimo ajuste de los valores al comportamiento del material. La resistencia a la compresión promedio más alta de esta etapa, la presentó la mezcla de suelo con 10 % de resina con 4.35 MPa (Fig. 6). De ambas pruebas (de degradación en agua y de compresión), la que mejores resultados obtuvo fue la muestra de suelo combinado con resina de pino (10 %), ya que conservó su forma por más tiempo sumergida en agua (36 horas) y la que mayor resistencia a la compresión presentó (4.35 MPa).

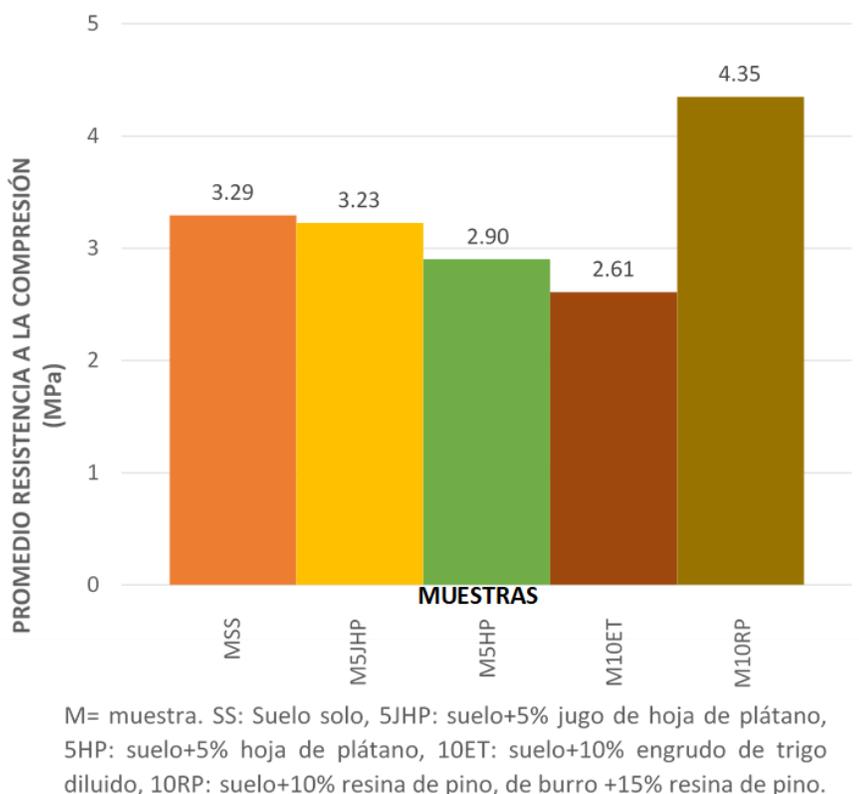


Fig. 6. Resistencia a la compresión promedio de todas las muestras realizadas.

Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Con base en el análisis y en los resultados obtenidos en el trabajo expuesto, se puede concluir que el suelo utilizado para la elaboración de las muestras manejadas en este trabajo fue, de acuerdo a la clasificación del SUCS, del tipo CL, lo cual indica que es un suelo con arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, haciéndolo apto para la elaboración de adobes. La muestra de suelo estudiada presentó un 49 % de finos en su composición. Al experimentar con

distintas mezclas mediante la elaboración de cubos, en la prueba de permeabilidad las muestras que mayor tiempo tardaron en deshacerse fueron las adicionadas con resina de pino. En las pruebas de resistencia a la compresión los cubos adicionados con resina de pino fueron los más resistentes. Además, el análisis de la varianza de esta prueba indicó un óptimo ajuste de las mediciones al comportamiento del material. Por tanto, la muestra que obtuvo mejores resultados en ambas pruebas, fue la de suelo + 10 % de resina de pino, ya que conservó su forma por 36 horas sumergida en agua y su resistencia a la compresión fue de 4.35 MPa. También se observó cómo quitando un material o agregando otro, las características cambiaban, por ejemplo, el acabado de las muestras visto en los cubos con jugo de hoja de plátano; o como la presencia de mayores cantidades de humedad (agua) respecto a la base (suelo), reducen la resistencia del material.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALAVÉZ RAMÍREZ, R. (2012). Desarrollo de un material compuesto a base de suelo compactado estabilizado con puzolanas. Tesis Doctoral. Instituto Tecnológico de Oaxaca, México.
- ALAVÉZ-RAMÍREZ, R. ...[et al.]. (2012). The use of sugarcane bagasse ash and lime to improve the durability and mechanical properties of compacted soil blocks. *Construction and Building Materials*. No. 34, p. 296-305.
- ARGÜELLO, T. y CUCHÍ, B. (2008). Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 x10 Con Techo-Chiapas del CYTED. *Informes de la Construcción*. 60(509), 25-34.
- GUERRERO BACA, L. F. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC). Información ambiental de productos y sistemas. Obtenido en septiembre del 2017. Disponible en <https://itec.es/metabase/productos-sostenibles/14/173/1274/>. Visitado el 23 de abril de 2020.
- JUÁREZ-BADILLO, E. y RICO-RODRÍGUEZ (2007). Mecánica de suelos. Tomo I. Fundamentos de la mecánica de suelos. Ed. Limusa.

- LABOREL-PRÉNERON, A. ...[et al.] (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, No.111, pp. 719-734.
- MARTÍNEZ-CAMACHO, F. (2007). La consolidación de adobe con mucílago de nopal. Estudio de un caso: el templo de la Antigua Misión de Nuestra Señora del Pilar y Santiago de Cocóspera, Sonora.
- MONTGOMERY-DOUGLAS C. (2004). Diseño y Análisis de Experimentos. Limusa - Wiley.
- MCHENRY, P. G. (2000). Adobe: cómo construir fácilmente. México: Trillas.
- Normas de construcción mexicanas emitidas por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE). NMX-C-036-ONNCCE y NMX-C-037-ONNCCE.
- RIVERA, A. y MUÑOZ, C. (2012). *EL ADOBE manual audiovisual de reforzamiento*. Obtenido en julio del 2016. Disponible en <http://eladobe.cl/proyecto/>. Visitado el 23 de abril de 2020.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1982). Normas de construcción, Muestreo y pruebas de materiales, parte primera. (465-472). México: Prima.
- SERRANO, S.; BARRENECHE, C. y CABEZA, L.F. (2016). Use of by-products as additives in adobe bricks: Mechanical properties characterization. *Construction and Building Materials*, No. 108, p.105-111.
- Subsecretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. (SAHOP) (1980). Manual de pruebas de laboratorio de mecánica de suelos. Vol. 1. México.
- STULZ, R. y MUKERJI, K. (1993). *Materiales de construcción apropiados. Catálogo de soluciones potenciales*. Londres: IT Publications.
- TAALLAH, B.; GUETTALA, A.; GUETTALA, S. y KRIKER, A. (2014). Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers. *Construction and Building Materials*. 59 (2014), p.161–168.